



**Análisis palinológico de la ciudad romana de Arucci Turobriga
(S.O. de la Península Ibérica)**

*Palynological analysis of the Roman city of Arucci Turobriga
(SW Iberian Peninsula)*

Bermejo, J. ^(1,2); Muñoz-Rodríguez, A. ⁽³⁾; Aguilar, I. ⁽¹⁾;
Navarro, F. ⁽²⁾; Ruiz, F. ^(2,4,*); Medina, N. ⁽⁵⁾

(1) Grupo Urbanitas: Arqueología y Patrimonio, Universidad de Huelva. Campus de El Carmen, 21007-Huelva, Spain

(2) Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural, Universidad de Huelva.
Campus de El Carmen, 21007-Huelva, Spain

(3) Departamento de Ciencias Integradas, Universidad de Huelva. Campus de El Carmen, 21007-Huelva, Spain

(4) Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva. Campus de El Carmen, 21007-Huelva, Spain

(5) Ayuntamiento de Aroche, 21240-Aroche, Spain.

*Correspondencia: ruizmu@uhu.es (F. Ruiz)

Resumen

Una de las aplicaciones más frecuentes de la Palinología es la reconstrucción paleoambiental de antiguos asentamientos arqueológicos, basada a menudo en la comparación con análogos modernos. En este trabajo se presenta un análisis de los registros de polen y esporas asociados al complejo termal de Arucci Turobriga, una ciudad romana (siglos I BCE-III CE) situada en el suroeste de España. El registro polínico representa un entorno constituido principalmente por encinares y alcornoques y fresnedas como vegetación de ribera, a los que acompañan pinos y acebuches, así como matorrales de coscojares, lentiscas, jarales y retamares. Por su abundancia durante el periodo de desarrollo de la ciudad, algunas especies podrían haber sido utilizadas como recursos forestales, agrícolas u ornamentales, como sería el caso de las especies de Cupressaceae y de *Pinus*, así como del olivo, el algarrobo y el avellano. El cortejo de especies herbáceas representa una flora ruderal, probablemente asociada a enclaves antropizados, dado el gran número de especies nitrófilas que incluye. El registro de esporas está dominado por hongos parásitos (principalmente tipo *Ustilago* y tipo *Puccinia*) y hongos micorrícicos (principalmente *Glomeromycota* p.p. y tipo *Glomus*). Por otro lado, la presencia de esporas de hongos coprófilos corrobora la identificación de una letrina en el sector norte de las termas de la ciudad.

Palabras clave: Palinología; reconstrucción paleoambiental; termas; ciudad imperial romana; SO España.



Abstract

One of the most frequent applications of palynology is the palaeoenvironmental reconstruction of ancient archaeological settlements, often based on comparison with modern analogues. This paper presents an analysis of the pollen and spore records associated with the thermal complex of Arucci Turobriga, a Roman city (1st century BCE-3rd century CE) located in southwestern Spain. The pollen record represents an environment consisting mainly of holm oak and cork oak groves and ash groves as riparian vegetation, accompanied by pine and wild olive trees, as well as thickets of kermes oak, mastic, rockrose and broom. Due to their abundance during the period of the town's development, some species could have been used as forestry, agricultural or ornamental resources, such as Cupressaceae and *Pinus* species, as well as olive, carob and hazel trees. The group of herbaceous species represents a ruderal flora, probably associated with anthropised enclaves, given the large number of nitrophilous species it includes. The spore record is dominated by parasitic fungi (mainly *Ustilago* type and *Puccinia* type) and mycorrhizal fungi (mainly *Glomeromycota* p.p. and *Glomus* type). On the other hand, the presence of spores of coprophilous fungi corroborates the identification of a latrine in the northern sector of the city's hot springs.

Key words: Palynology; palaeoenvironmental reconstruction; thermal baths; Imperial Roman city; SW Spain.

1. Introducción

La Palinología es un instrumento poderoso para la reconstrucción paleoambiental de yacimientos arqueológicos, con una aplicación creciente desde los inicios del siglo XX. En estos contextos, los análisis de polen, esporas y palinomorfos no polínicos proporcionan una valiosa información sobre actividades humanas pretéritas, variabilidad paleoclimática y paleoambiental, cambios paleogeográficos o en los hábitos alimentarios, entre otras posibilidades.

Durante el periodo imperial romano (27 BCE-476 CE), la Península Ibérica estaba dividida en tres provincias (Fig. 1): Tarraconensis, Lusitania y Baetica. La ciudad de Arucci Turobriga fue fundada entre 15-13 BCE en tiempos del emperador Augusto en el noreste de esta última provincia. Estaba localizada en una colina situada en la ribera del río Chanza, un afluente del río Guadiana. Hoy, sus restos han sido excavados cerca del pueblo de Aroche, dentro del Parque Natural de la Sierra de Aracena y Picos de Aroche, que se extiende por el norte de la provincia de Huelva.

Esta ciudad experimentó un rápido crecimiento y un notable desarrollo urbanístico durante

el siglo I CE. La construcción del foro se llevó a cabo entre los años 37 CE y 54 CE, con una plaza porticada en la que se albergaban las funciones administrativas, judiciales y religiosas (Bermejo, 2013). Posteriormente, durante la época Flavia (69 CE-96 CE), se construyen las termas y el Campo de Marte, monumentales edificios públicos que denotan una importante actividad constructora para la época, alcanzando la ciudad su máximo esplendor en el siglo II CE (Bermejo, 2011). La ciudad comenzó a decaer a mediados del siglo III CE y fue abandonada paulatinamente, dentro del contexto general de crisis urbana que se registró en ese momento en todo el Imperio Romano. La ciudad sirvió entonces de cantera para la construcción de las numerosas *villae rusticae*, documentadas en sus inmediaciones (Bermejo y Campos, 2022).

En el presente trabajo se analiza el registro palinológico de seis muestras de distinta cronología y procedentes de diversas ubicaciones dentro del complejo termal de Arucci Turobriga, con el objetivo de efectuar una reconstrucción del paisaje urbano y del entorno de esta ciudad, así como realizar una aproximación a su evolución temporal.

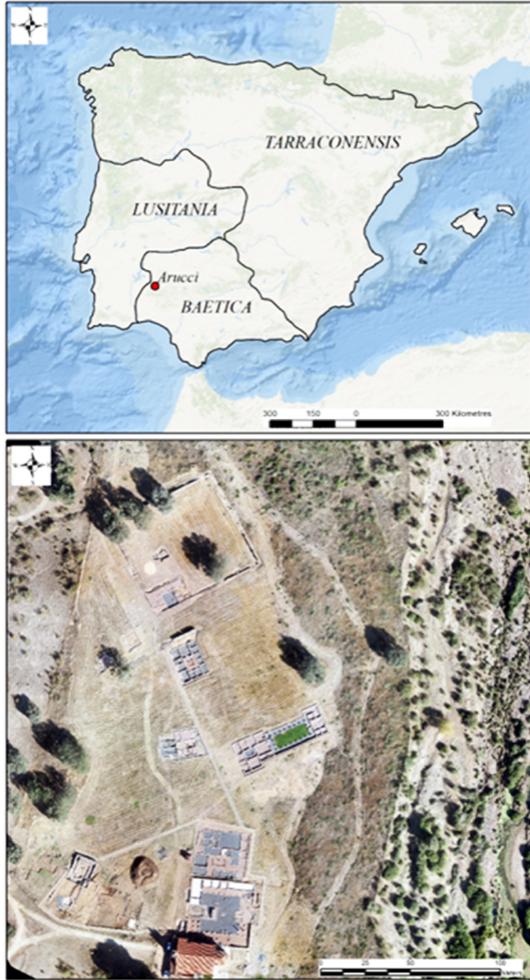


Figura 1. Localización de Arucci Turobriga en las provincias romanas imperiales de la Península Ibérica y vista aérea de la ciudad.

Figure 1. Location of Arucci Turobriga in Roman Imperial Provinces of the Iberian Peninsula and aerial view of the city.

2. Arucci Turobriga y su vegetación actual

2.1. La estructura urbana de Arucci

Las excavaciones e investigaciones que se han llevado a cabo durante las dos últimas décadas en la ciudad romana de Arucci Turobriga han puesto al descubierto unas ocho hectáreas que corresponden al plano de una ciudad dotada de todos los elementos característicos del urbanismo clásico (Bermejo, 2013). La

estructura urbana documentada define esta ciudad como un enclave de servicios, un núcleo de control territorial dotado de los elementos necesarios para articular un conjunto de prestaciones necesarias para la población adscrita al territorio. Esta idea se deriva del importante papel adquirido por los edificios públicos monumentales (Fig. 2: *forum*, *thermae*, *campus* y *macellum*) frente a la escasa superficie ocupada por el área doméstica residencial (Bermejo *et al.*, 2020a).

El edificio termal está situado en uno de los niveles más altos de la ciudad y las excavaciones realizadas a principios del siglo XXI sacaron a la luz una gran *natatio* de forma

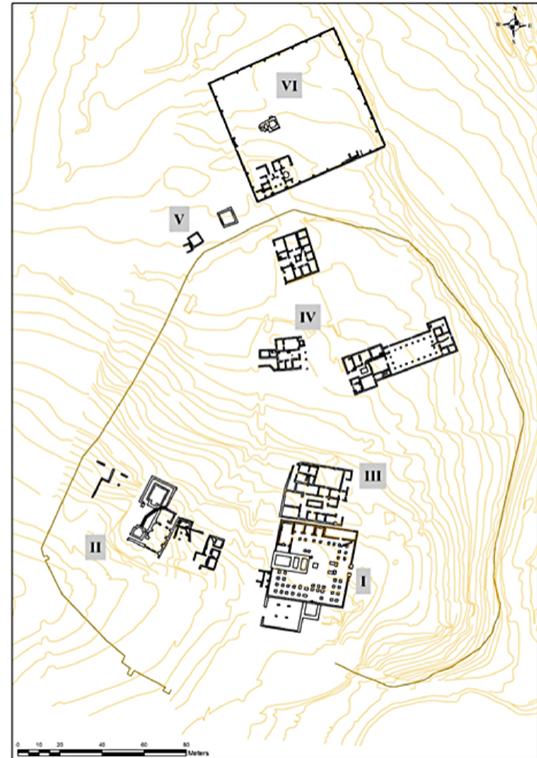


Figura 2. Planimetría de Arucci Turobriga con indicación de los elementos conocidos en la actualidad. I: *forum*; II: *thermae*; III: *posible macellum*; IV: *area doméstica*; V: *necropolis*; VI: *campus*.

Figure 2. Planimetry of Arucci Turobriga with indication of currently known elements. I: *forum*; II: *thermae*; III: *possible macellum*; IV: *domestic area*; V: *necropolis*; VI: *campus*.

cuadrangular, lo que confirmó la existencia de una zona de baño en la ciudad (Campos *et al.*, 2006). Nuevas excavaciones efectuadas en 2008 revelaron la existencia de otra piscina de menores proporciones que la primera, pero ambas conectadas entre sí por su sistema de drenaje. Además, se documentaron dos estructuras hidráulicas de almacenamiento o aljibes, relacionadas con el abastecimiento de agua al complejo termal (Medina, 2009). Una posterior campaña de excavación llevada a cabo en 2019 puso al descubierto un importante conjunto de edificaciones al este de las termas, con un gran espacio central porticado, a modo de *palestra*, tras el que se

disponían una serie de estancias dispuestas en batería, identificándose una de ellas con una letrina (Bermejo *et al.*, 2020b).

2.2. Las *thermae* de Arucci Turobriga

Este edificio tiene una superficie excavada de 1400 m² y está formado por dos grandes construcciones cuadrangulares que constituían su planta baja. Básicamente, las partes principales que lo definen son una *letrina*, un *apodyterium*, una gran sala para baños fríos compuesta por una *natatio* y una piscina, así como estructuras hidráulicas que abastecerían de agua al edificio (Fig. 3).

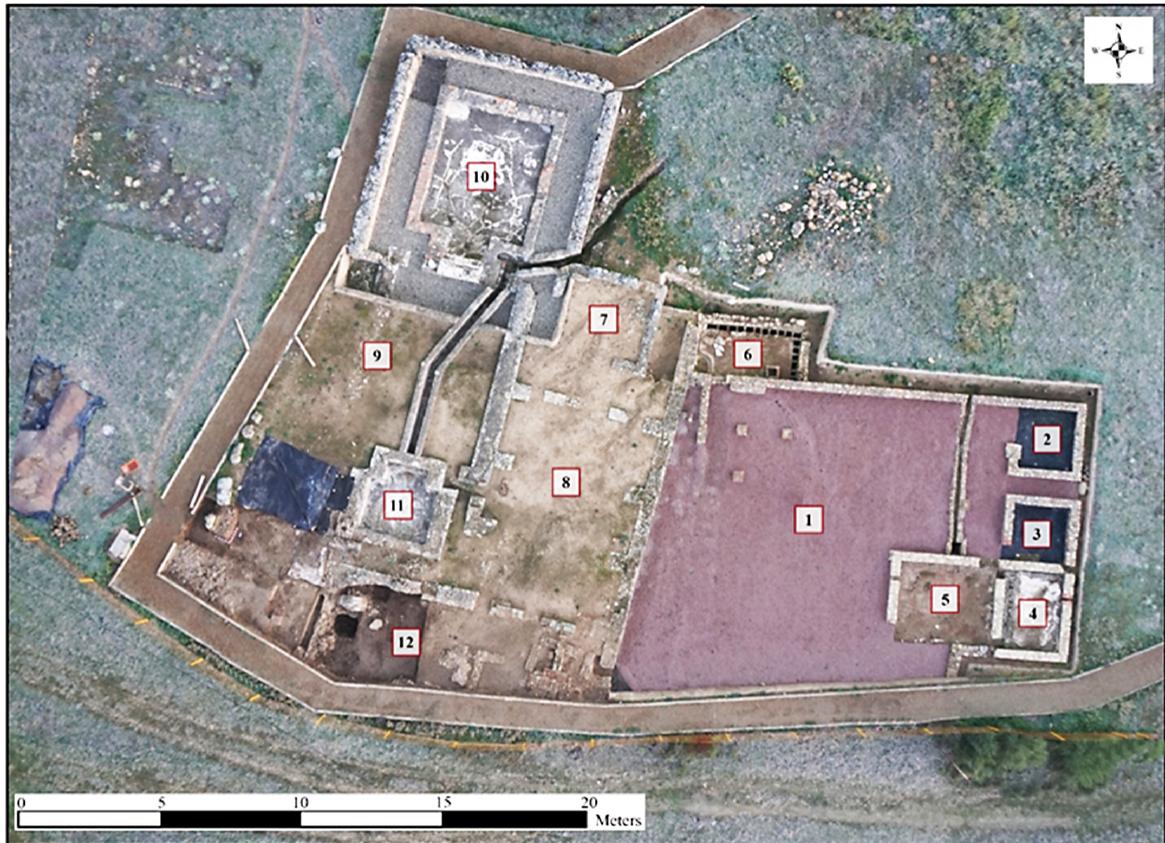


Figura 3. Planimetría de las termas con interpretación de las zonas documentadas. 1: Palaestra; 2: Destructarium?; 3: Sudatoria/Caldaria?; 4: Cisterna I; 5: Cisterna II; 6: Latrinae; 7: Vestibula?; 8: Apodyterium; 9: Frigidarium; 10: Natatio; 11: Piscina; 12: Caldarium?

Figure 3. Planimetry of the *thermae* with interpretation of the documented environments. 1: Palaestra; 2: Destructarium?; 3: Sudatoria/Caldaria?; 4: Cisterna I; 5: Cisterna II; 6: Latrinae; 7: Vestibula?; 8: Apodyterium; 9: Frigidarium; 10: Natatio; 11: Piscina; 12: Caldarium?

Se han identificado seis fases de construcción estructuradas en tres momentos bien definidos. Las dos primeras fases comprenden la edificación de la *palestra* y la construcción de las salas contiguas y muy probablemente tuvieron lugar antes de la segunda mitad del siglo I CE. Las tres fases siguientes corresponden a la construcción de la parte monumental del complejo y a las posteriores remodelaciones y reestructuraciones que se llevarán a cabo en algunas salas construidas en fases anteriores. Estas tres fases, fechadas en época Flavia, se enmarcan en el proceso general del nuevo impulso urbanístico sufrido por las ciudades de Hispania en general al calor de las nuevas promociones jurídicas. El uso de las *thermae* debió extenderse a lo largo del siglo II CE, como se desprende de la cultura material recuperada en los niveles de uso de ambientes como el *apodyterium* y diferentes estancias, representados por conjuntos cerámicos de fina producción hispana y, en menor medida, africana, con sólo algunas cerámicas comunes que pueden extenderse hasta el siglo III CE (Delgado, 2008; O’Kelly, 2008).

La sexta fase corresponde a su abandono y posterior derrumbe y no parece ir más allá del siglo III CE. La ausencia de formas cerámicas típicas de la primera mitad del siglo III CE en las unidades de relleno, así como la datación de varias muestras de carbón recuperadas bajo niveles de escombros (con una cronología que no supera el año 210 CE), indican que la funcionalidad del edificio como zona de baño estuvo en desuso en momentos anteriores al primer cuarto del siglo III CE (Aguilar y Bermejo, 2022).

2.3. Entorno vegetal actual de Arucci Turobriga

Arucci Turobriga se localiza en el dominio de la serie mesomediterránea luso-extremadura-seca-subhúmeda silicícola de la encina —*Pyro bourgaeanae-Querceto rotundifoliae*

sigmetum— (Rivas-Martínez, 1987; Valle y Costa, 2003; Costa, 2005; Muñoz-Rodríguez *et al.*, 2008) y, dentro de ésta, en su faciación termófila mariánico-monchiquense con *Pistacia lentiscus*, la cual ocupa parte de la comarca del Andévalo, localizada al sur de Arucci Turobriga, la parte este del Parque Natural de Sierra de Aracena y Picos de Aroche y el valle del río Chanza.

La vegetación potencial actual estaría formada por bosques mixtos o en mosaico de encinas y alcornoques luso-extremadurenses, acidófilos, mesomediterráneos o localmente supramediterráneos, con posible presencia esporádica de *Pinus pinaster* y/o *P. pinea*. El maquis estaría representado por coscojares de *Hyacinthoides hispanicae-Quercetum cocciferae* que, por tratarse de la faciación termófila, tendrían un carácter intermedio con los lentiscares y acebuchales de *Asparago albi-Rhamnetum oleoidis* del Andévalo, ricos en *Pistacia lentiscus* y *Olea europaea*. Los matorrales más frecuentes serían los jarales de *Genito hirsutae-Cistetum ladaniferi* y de *Ulci eriocladi-Cistetum ladaniferi*, los cantuesales de *Scillo maritimae-Lavanduletum pedunculatae* y los matorrales retamoides de *Retamo sphaerocarphae-Cytisetum bourgaei*, apareciendo puntualmente comunidades de *Genistetum polyanthi* (Muñoz-Rodríguez *et al.*, 2008).

Actualmente el paisaje está formado principalmente por dehesas monoespecíficas o mixtas, de encinas y alcornoques, dedicadas a la ganadería, con matorrales dispersos de jarales y retamares. En cuanto al río Chanza, cuya vegetación de ribera debería estar formada por fresnedas de *Ficario ranunculoidis-Fraxinetum angustifoliae*, en la actualidad está representada por fresnos dispersos y frecuentes masas de adelfas (*Nerium oleander*). Las zonas cultivadas son escasas y dedicadas en gran parte al olivar, aunque recientemente han proliferado los cultivos de arándanos en la zona.

3. Material y métodos

Se han seleccionado seis puntos de muestreo situados en diversos enclaves del complejo termal de Arucci Turobriga (Fig. 4: A-1 a A-6) y cuya cronología abarca desde la fase de cimentación de la ciudad (50-70 CE) hasta los niveles de expolio posteriores al siglo XVII CE (Tabla 1), de acuerdo con los trabajos previamente citados en la introducción de este estudio. La muestra A-4 (50-70 CE) procede de la fase constructiva de Arucci Turobriga, ya que la ciudad se fundó en tiempos de Augusto (10-15 BCE). Este depósito coincidiría con la terminación del foro (37-54 CE) y el inicio de la construcción de las termas y el Campo de Marte (69-96 CE). Las muestras A-6 (siglos

III CE - V CE), A-5 y A-3 (*post quem* primera mitad del siglo III CE) poseen su datación más antigua anterior al abandono funcional del foro, que comenzó en la segunda mitad del siglo III CE, aunque el núcleo poblacional se mantiene hasta parte del siglo IV CE. La muestra A-1 (*post quem* siglo III CE) posee una datación posterior a las anteriores lo que la sitúa en una etapa de abandono de la ciudad. Por último, la muestra A-2 (*post quem* primera mitad del siglo XVII CE), correspondería a los niveles de expolio de la ciudad ya abandonada. De esta forma, las diferencias halladas en las muestras podrán ser interpretadas en base a su cronología, a las distintas etapas del desarrollo de la ciudad o a su localización.



Figura 4. Situación de las muestras extraídas para el análisis palinológico.

Figure 4. Location of samples taken for palynological analysis.

Tabla 1. Cronología y situación de las muestras estudiadas.
 Table 1. Chronology and location of studied samples.

CRONOLOGÍA	MUESTRA	SITUACIÓN	OBSERVACIONES
50-70 CE	A-4	<i>Exedra</i>	Cimentación de la fase monumental
Siglos III CE-V CE	A-6	<i>Palestra</i>	Relleno de caja de registro
<i>postquem</i> primera mitad del siglo III CE	A-3	¿Piscina ? (caliente)	Accesos
	A-5	<i>Letrina</i>	Relleno de la cloaca
<i>postquem</i> siglo III CE	A-1	<i>Frigidarium</i>	Niveles de relleno
<i>postquem</i> primera mitad del siglo XVII CE	A-2	<i>Caldarium</i>	Niveles de expolio

En cada punto de muestreo se extrajo una muestra de 3 g. La extracción y concentración del polen se efectuó en 3 fracciones de 1 g cada una, por digestión en HCl (10%), KOH (10%) y HF (60%) (Faegri *et al.*, 1989; Moore *et al.*, 1991), de acuerdo con las modificaciones propuestas por Ibarra-Morales y Fernández-Galán (2012).

Los residuos resultantes se montaron con glicerogelatina teñida con fucsina básica sobre portaobjetos, cubriendo una superficie de 24 x 24 mm. Se montaron 20 preparaciones para los puntos de muestreo A-1, A-2, A-3 y A-4, y 30 preparaciones para los puntos de muestreo A-5 y A-6. Se observó todo el contenido de cada una de las preparaciones mediante barridos transversales, llegando a superarse la suma polínica de 200 granos de polen en la mayoría de las muestras (A-1: 266; A-2: 152; A-3: 57; A-4: 209; A-5: 874; A-6: 789). En el caso de las esporas se contabilizaron todas las que aparecieron hasta alcanzar una cifra superior a los 400 elementos.

La observación de los palinomorfos se realizó con el microscopio óptico a 1000 aumentos. Los granos de polen se identificaron según Valdés *et al.* (1987) y Moore *et al.* (1991) y la identificación de las esporas se basó en los trabajos de Puche *et al.* (1988), Van Geel (2002), Bera *et al.* (2008), Cugny *et al.* (2010), Käärik *et al.* (2012), Suchitra *et al.* (2012) y Melo *et al.*

(2020). El contenido polínico se calculó por el método volumétrico, considerando la masa inicial de sedimento en cada muestra, el volumen final de levigado, el volumen utilizado para montar las preparaciones y el número total de granos y esporas observados en cada muestra (Casas-Gallego *et al.*, 2012), con la estimación del contenido por gramo de cada muestra. En cada muestra se calculó el porcentaje que representaba cada tipo polínico con respecto al total de granos de polen analizados, incluyendo los no identificados, y se procedió de igual manera en el caso de las esporas. La proporción de polen correspondiente a especies arbóreas frente al correspondiente a especies no arbóreas (AP/NAP) se calculó dividiendo el contenido de pólenes pertenecientes a especies arbóreas por el de las especies arbustivas, contabilizándose en este grupo el polen de Cupressaceae por incluir de forma autóctona únicamente las especies de sabinas y enebros.

Los espectros polínicos observados se compararon con las reconstrucciones del paisaje realizadas a partir de los resultados obtenidos en estudios palinológicos realizados en zonas cercanas a la del presente estudio, como es el caso de Aracena (López-Sáez *et al.*, 2015) y el yacimiento de La Junta en la Puebla de Guzmán (Fuentes *et al.*, 2006), ambas localizadas biogeográficamente, al igual que Aroche, en el Distrito Araceno-Pacense (Rivas-Martínez, 1987; Valle *et al.*, 2004).

Para analizar las relaciones entre las distintas muestras en base a su contenido polínico y fúngico, se realizaron dos Análisis de Componentes Principales (ACP), un primero a partir de los porcentajes de representación de los 26 tipos polínicos identificados, calculados con respecto al número total de granos de polen observados en cada muestra, y un segundo basado en los porcentajes de representación de los 22 tipos de esporas, calculados con respecto al número total de esporas observadas en cada muestra. Para la interpretación de ambos análisis se observaron para cada tipo los valores de sus coordenadas, o peso en el componente, utilizando aquellos con valor superior a 0,6.

4. Resultados

4.1. Polen

El contenido medio en polen de las muestras analizadas fue de 1572 granos por gramo de suelo, fluctuando este valor entre 300 en la muestra A-3 a 3067 en la muestra A-5 (Fig. 5). El porcentaje de granos no identificados osciló entre 0 y 21,4%, con una media de 7,7%.

Fueron reconocidos 26 tipos polínicos, cuyos porcentajes de aparición se muestran en la Figura 6. El espectro polínico incluye seis tipos de especies arbóreas, seis tipos de especies arbustivas, en el que se contabiliza el polen de Cupressaceae, y 14 tipos de especies herbáceas. La mayor diversidad de tipos se registró en la muestra A-5, con 15 tipos identificados, y la mínima en la muestra A-1, donde sólo se identificaron 4 tipos.

Considerando los porcentajes de los tipos polínicos en las muestras, el ACP estableció dos grupos de muestras distanciadas en función del segundo componente: el grupo A-5 y A-6 en su parte positiva y el grupo A-2 y A-4 en su parte negativa, mientras que las muestras A-1 y A-3 se situaban cercanas al 0 respecto

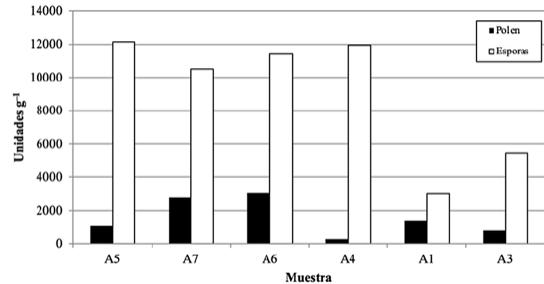


Figura 5. Cantidad de polen y esporas por gramo en las diferentes muestras.

Figure 5. Amounts of pollen and spores per gram in the different samples.

a dicho componente, pero distanciadas con relación al primer componente, la primera en su parte negativa y la segunda en su parte positiva (Fig. 7A). El primer componente del ACP explicó el 25,91% de la varianza (Tabla 2), y en su desarrollo intervinieron siete tipos polínicos con valor absoluto de coordenada o peso en el componente superior a 0,6: cuatro con signo positivo (*Pinus* sp., *Mercurialis* sp., *Echium* sp. y *Paronychia* sp.) y tres con signo negativo (*Fraxinus* sp., Cupressaceae y Poaceae). El segundo componente del ACP explicó el 22,49% de la varianza, y en su desarrollo intervinieron siete tipos polínicos con valor absoluto de coordenada o peso en el componente superior a 0,6: seis con signo positivo (tipo *Anthemideae*, *Chamaerops humilis*, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Cupressaceae, *Myrtus communis* y *Olea europaea*) y únicamente el tipo *Senecio* con signo negativo.

La proporción de polen correspondiente a especies arbóreas frente al correspondiente a especies no arbóreas (AP/NAP) fue de: 0,5 para A-4; 1,7 para A-6; 1,7 para A-5; 0,6 para A-3; 0,7 para A-1; y 1,0 para A-2. El porcentaje de polen de especies arbóreas (31,8-63,4%; media -M-: 45,3%) alcanzó sus valores máximos en las muestras A-5 y A-6, correspondientes al periodo de desarrollo de la ciudad.

El polen de *Pinus* sp. es el tipo más abundante entre las especies arbóreas (0-33,3%; -M-:

15,5%) (Fig. 8A), estando ausente únicamente en la muestra A-4, procedente de la fase constructiva de la ciudad. Los granos de este tipo observados con mejor resolución en las muestras analizadas revelan que la mayoría deben pertenecer a *Pinus pinea* o a *P. pinaster*, en base a su tamaño, a las dimensiones de los sacos aéreos y al grosor de la exina

(Desprat *et al.*, 2015). El siguiente tipo más abundante es *Quercus sp.* (0-25%; M: 13,5%) (Fig. 8B), que, en base a su tamaño relativo, a los caracteres de los colpos, así como a la distribución de los gránulos y verrugas en su superficie, parece incluir pólenes de especies perennifolias, incluyendo tanto pólenes de *Q. rotundifolia* y *Q. coccifera*, como pólenes de

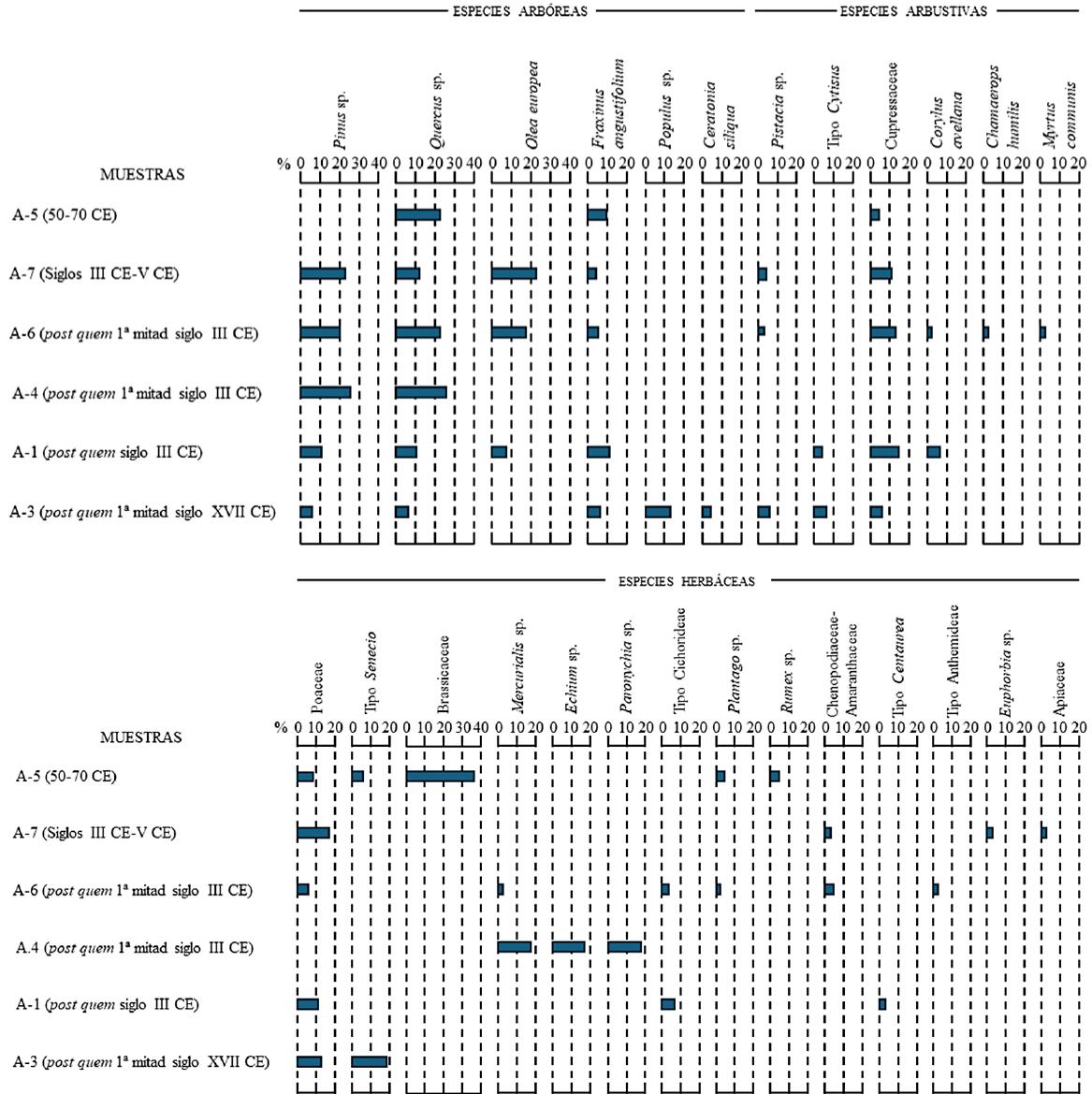


Figura 6. Porcentajes de los diferentes tipos y grupos de polen.
 Figure 6. Percentages of the different pollen types and groups.

Tabla 2. Porcentaje de la varianza explicada y coordenadas para los tres primeros factores resultantes de Análisis de Componentes Principales realizado usando los 26 tipos polínicos identificados en las seis muestras.

Table 2. Percentage of explained variance and factor loading for the first three factors resulting from Principal Component Analysis performed using the 26 pollen types identified in the six samples.

Especies	Factor 1	Factor 2	Factor 3
% varianza	25,91	22,49	21,46
tipo Anthemideae	-0,074937	0,735982	0,262872
Apiaceae	-0,041625	0,380949	0,253453
Brassicaceae	-0,109673	-0,480464	0,291214
tipo <i>Centaurea</i>	-0,477191	-0,00276	-0,878778
<i>Ceratonia siliqua</i>	-0,477191	-0,00276	-0,878778
<i>Chamaerops humilis</i>	-0,074937	0,735982	0,262872
Chenopodiaceae-Amaranthaceae	-0,094104	0,909323	0,387591
tipo Cichorideae	-0,505226	0,325255	-0,751759
<i>Corylus avellana</i>	-0,498354	0,11344	-0,854429
Cupressaceae	-0,765257	0,601848	-0,218492
tipo <i>Cytisus</i>	-0,491392	-0,496618	-0,138164
<i>Echium</i> sp.	0,945644	-0,114909	-0,286147
<i>Euphorbia</i> sp.	-0,041625	0,380949	0,253453
<i>Fraxinus</i> sp.	-0,846869	-0,33174	-0,259766
<i>Mercurialis</i> sp.	0,951234	-0,067175	-0,27184
<i>Myrtus communis</i>	-0,074937	0,735982	0,262872
<i>Olea europaea</i>	-0,226892	0,866279	0,170042
<i>Paronychia</i> sp.	0,945644	-0,114909	-0,286147
<i>Pinus</i> sp.	0,753432	0,552465	-0,189734
<i>Pistacia</i> sp.	-0,29282	-0,050375	0,592638
<i>Plantago</i> sp.	-0,14323	-0,118112	0,410897
Poaceae	-0,693364	-0,014025	0,242717
<i>Populus</i> sp.	-0,242218	-0,518797	0,357385
<i>Quercus</i> sp.	-0,381741	-0,127553	0,867206
<i>Rumex</i> sp.	-0,109673	-0,480464	0,291214
tipo <i>Senecio</i>	-0,273784	-0,64635	0,435546

Q. suber (Carrión *et al.*, 2000). Este polen aparece en todas las muestras salvo en A-1 y A-3. El polen de *Fraxinus* sp. (0-10,7%; M: 5,7%) (Fig. 8D) aparece en todas las muestras salvo en A-3, mientras que el de *Olea europaea* (0-23,5%; M: 8%) (Fig. 8C) solo aparece en las muestras A-5, A-6 y A-1, el de *Populus* sp. únicamente aparece en la muestra A-2 (Fig. 8E), y el de *Ceratonia siliqua* L. (Fig. 8J) solo aparece en la muestra A-1.

El polen procedente de especies arbustivas (0-25%; M: 13,5%) está presente en todas las muestras salvo en A-3. En este grupo se ha incluido el polen de Cupressaceae (0-14,3%; M: 8,1%) (Fig. 8H), ya que aglutina las especies de sabinas y enebros presentes de forma autóctona en la región. El polen de *Pistacia* sp. (0-6,3%; M: 2%) (Fig. 8F) aparece en las muestras A-5, A-6 y A-2, y el resto de los tipos procedentes de especies arbustivas se en-

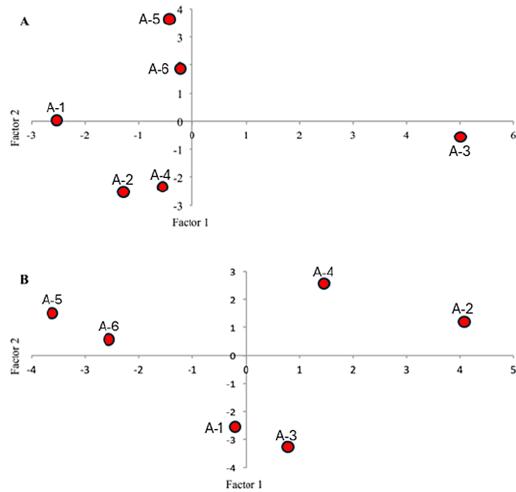


Figura 7. Análisis de Componentes Principales Representación del ACP para la comparación de las seis muestras estudiadas: A) basado en los 26 tipos polínicos identificados; B) basado en los 22 tipos fúngicos identificados.

Figure 7. Principal Component Analysis for the comparison of the six studied samples: A) based on the 26 pollen types identified in the samples; B) based on the 22 spore types identified.

cuentran de forma más puntual y en menor abundancia. *Cytisus* (Fig. 8G) está limitado a las muestras A-1 y A-2, en tanto que *Corylus avellana* L. (Fig. 8I) aparece en A-5 y A-1; y *Chamaerops humilis* y *Myrtus communis* L. (Fig. 8K) se circunscriben únicamente a A-5.

El polen procedente de especies herbáceas (17,2-59,1%; M: 33,6%) se presentó en todas las muestras, siendo más abundante en las muestras A-4 y A-3. El tipo más frecuente y abundante fue el polen de Poaceae (0-17,6%; M: 9,2%) (Fig. 8L), cuyo tamaño de grano varió considerablemente entre las muestras analizadas, no superando las 40 μm en la mayor parte de los granos de la muestra A-6, pero superando las 70 μm en las muestras A-1 y A-2. Siguiendo en abundancia, el polen de Brassicaceae (Fig. 8M) solo se presentó en la muestra A-4, pero representó el 36,4% del polen identificado en ella, y el polen de *Senecio* sp. (Fig. 8N) y el de *Mercurialis* sp. (Fig. 8O) aparecieron en dos de las muestras, sien-

do significativo que éste último, junto con los pólenes de *Echinum* sp. y de *Paronychia* sp. constituyeran el 50% de polen identificado en la muestra A-3.

4.2. Esporas

La riqueza media de espora en los puntos de muestreo ha sido de 8.494 esporas por gramo de suelo, y ha estado comprendida entre los 3.050 de la muestra A-1 y las 12.150 de la muestra A-4 (Fig. 5). Se han identificado un total de 22 tipos de esporas, que incluyen un tipo procedente de hongos coprófilos, un tipo procedente de hongos xilófilos, nueve tipos correspondientes a hongos parásitos, cinco tipos a hongos micorrízicos, dos pertenecientes a hongos de ecología diversa y cuatro tipos de esporas de briófitos y pteridófitos (Fig.

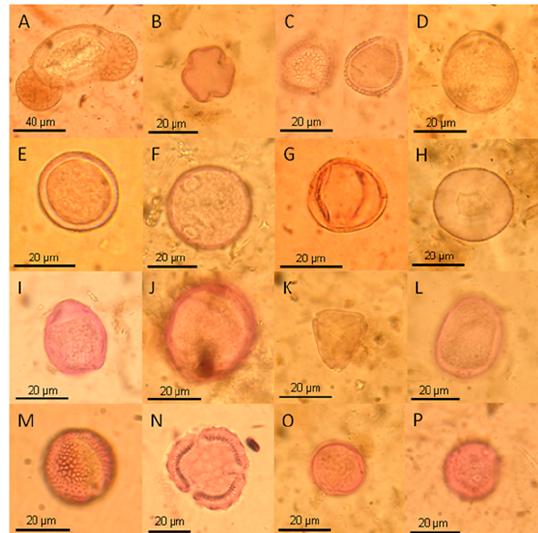


Figura 8. **Pollen.** A: *Pinus* sp.; B: *Quercus* sp.; C: *Olea europea*; D: *Fraxinus* sp.; E: *Populus* sp.; F: *Pistacia* sp.; G: tipo *Cytisus*; H: Cupressaceae; I: *Corylus avellana*; J: *Ceratonia siliqua*; K: *Myrtus communis*; L: Poaceae; M: Brassicaceae; N: tipo *Senecio*; O: *Mercurialis* sp.; P: *Plantago* sp.

Figure 8. **Pollen.** A: *Pinus* sp.; B: *Quercus* sp.; C: *Olea europea*; D: *Fraxinus* sp.; E: *Populus* sp.; F: *Pistacia* sp.; G: *Cytisus* type; H: Cupressaceae; I: *Corylus avellana*; J: *Ceratonia siliqua*; K: *Myrtus communis*; L: Poaceae; M: Brassicaceae; N: *Senecio* type; O: *Mercurialis* sp.; P: *Plantago* sp.

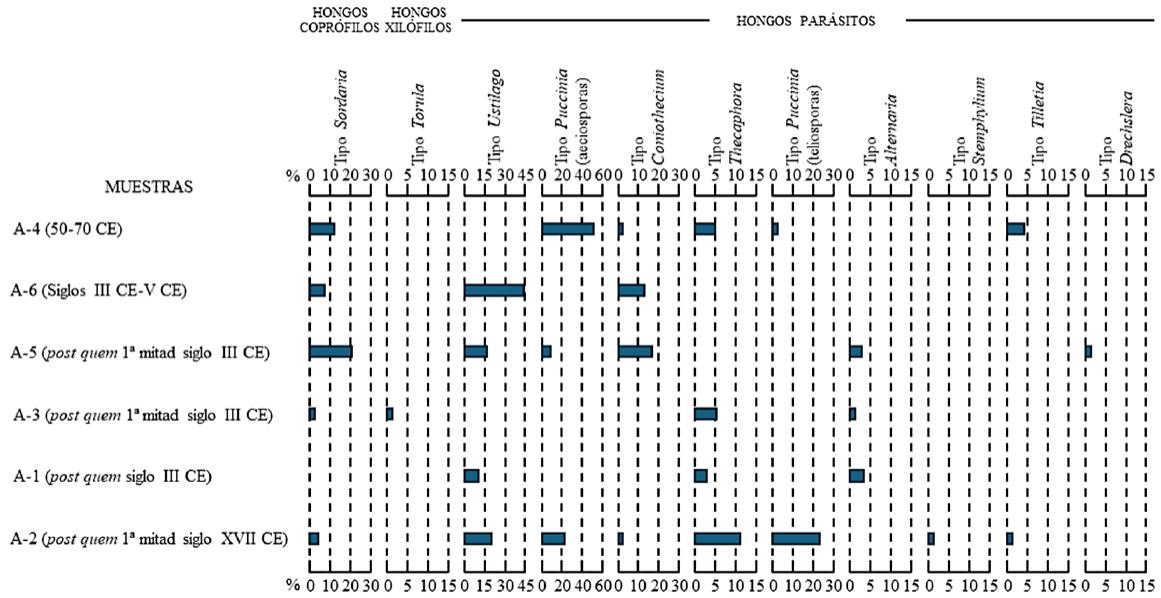


Figura 9. Porcentajes de los diferentes tipos y grupos de esporas.
Figure 9. Percentages of the different spore types and groups.

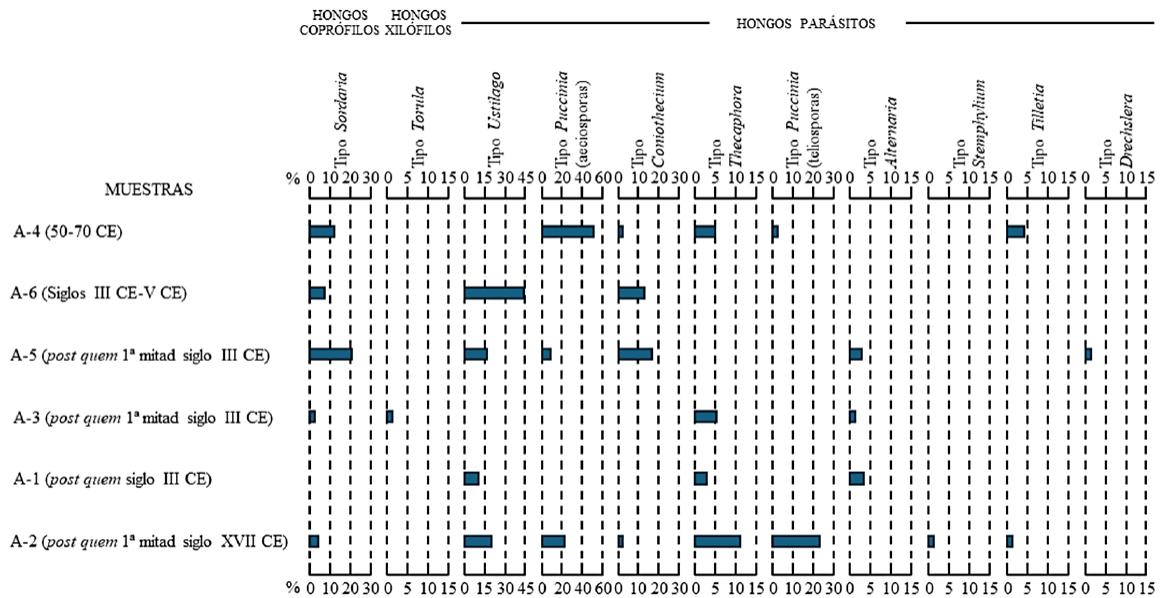


Figure 10. **Esporas. Hongos coprófilos.** A: tipo Sordaria. **Hongos parásitos.** B: tipo Ustilago; C: tipo Puccinia (aeciospora); D: tipo Coniothecium; E: tipo Tecaphora; F: tipo Puccinia (teliosporas); G: tipo Alternaria. **Hongos micorrizales.** H: Glomeromycota p.p.; I: tipo Sclerodermatineae; J: tipo Glomus; K: tipo Scutellospora. **Pteridofitas y briofitas.** L: tipo Riccia; M: tipo Fossombronia; N: Pteridium aquilinum; O: tipo Pellia.
Figure 10. **Spores. Coprophilous fungi.** A: Sordaria type. **Parasitic fungi.** B: Ustilago type; C: Puccinia type (aeciospore); D: Coniothecium type; E: Tecaphora type; F: Puccinia type (teliospores); G: Alternaria type. **Mycorrhizal fungi.** H: Glomeromycota p.p.; I: Sclerodermatineae type; J: Glomus type; K: Scutellospora type. **Pteridophytes and bryophytes.** L: Riccia type; M: Fossombronia type; N: Pteridium aquilinum; O: Pellia type.

9). El porcentaje de esporas no identificadas osciló entre el 3,8% y el 24,6%, con una media del 11,4%.

Considerando únicamente la representación de los tipos fúngicos en las muestras, el ACP estableció tres grupos de muestras: i) el grupo formado por las muestras A-1 y A-3, que se sitúan en la parte negativa del segundo componente y cercanas al origen del primer componente, mientras que las cuatro muestras restantes se sitúan en la parte positiva del segundo componente; ii) el grupo formado por A-5 y A-6 en la parte negativa del primer componente; y iii) el grupo de las muestras A-2 y A-4 en su parte positiva (Fig. 7B). El primer componente del ACP explicó el 35,2% de la varianza, y en su desarrollo intervinieron once tipos fúngicos con valor absoluto de coordenada o peso en el componente superior a 0,6: seis con signo positivo (tipo *Fossombronia*, *Pteridium aquilinum*, tipo *Puccinia* —teliospoas—, tipo *Riccia*, *Stemphylium* sp. y tipo *Tecaphora*) y cinco con signo negativo (tipo *Coniothecium*, tipo *Drechslera*, tipo *Sclerodermatinae*, tipo *Sordaria* y tipo *Ustilago*) (Tabla 2). El segundo componente del ACP explicó el 25,02% de la varianza, y en su desarrollo intervinieron siete tipos fúngicos con valor absoluto de coordenada o peso en el componente superior a 0,6: tres con signo positivo (tipo *Puccinia* —aeciosporas—, tipo *Sordaria* y tipo *Tilletia*) y cuatro con signo negativo (*Glomeromycota p.p.*, tipo *Glomus*, tipo *Torula*, tipo *Tuber*).

El grupo de hongos está dominado por los hongos parásitos (5,9-62,6; M: 41,3%), entre los cuales los tipos más abundantes fueron *Ustilago* (0-44,4%; M: 12%) (Fig. 10B), que alcanzó su máxima representación en la muestra A-6, y las aeciosporas de *Puccinia* (0-50,2%; M: 13,3%) (Fig. 10C), que fueron abundantes en la muestra A-4, mientras que las teliosporas de este género (0-22,9%; M: 4%) (Fig. 10F) lo fueron en la muestra A-2. Del resto de los tipos de hongos parásitos, solo

superaron el 2% de representación media los tipos *Coniothecium* (0-17,5%; M: 5,7%) (Fig. 10D), especialmente frecuentes en las muestras A-5 y A-6; y *Tecaphora* (0-11%; M: 4%) (Fig. 10E), que alcanzó la frecuencia máxima en la muestra A-2.

También debe destacarse la abundancia de los hongos micorrízicos (7-88,7%; M: 36,3%), y especialmente en las muestras A-1 y A-3. Dentro de este grupo, las esporas más frecuentes fueron las de *Glomeromycota p.p.* (0-52,5%; M: 19,2%) (Fig. 10H), constituyendo más del 50% de las esporas observadas en las muestras A-1 y A-3, en las cuales también están bien representadas las esporas de *Glomus* (0-18,8%; M: 6,5%) (Fig. 10J). Dentro de este grupo, las esporas de otros dos tipos superan el 2% de representación: *Sclerodermatineae* (0-25,4%; M: 6,2%) (Fig. 10I), abundante sobre todo en la muestra A-6, y *Scutellospora* (0-9,5%; M: 3%) (Fig. 10K), con máxima representación en la muestra A-4.

Las esporas de hongos coprófilos estuvieron representadas únicamente por el tipo *Sordaria* (0-20,5%; M: 7,1%) (Fig. 10A), que presentó su máxima abundancia en la muestra A-5. Con respecto a las esporas de hongos xilófilos (0-0,4%; M: 0,1%) y a las de hongos de ecología diversa (0-2,3%; M: 0,7%), su frecuencia y abundancia fue menor que las de los grupos de hongos ya comentados.

Las esporas de pteridófitos y briófitos estuvieron representadas por las esporas de *Riccia* (Fig. 10L), *Fossombronia* (Fig. 10M), *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (Fig. 10N) y *Pellia* (Fig. 10O). Aparecieron en todas las muestras excepto en A-5 y A-6 (0-11,9%; M: 3,2%), y alcanzaron su frecuencia máxima en la muestra A-2.

4.3. Otros elementos biológicos

La matriz de las muestras fue mineral. Además de los tipos polínicos y de esporas men-

cionados, en la muestra A-2 se observó un pelo de gato, y en la muestra A-3 se identificó un anillo de dehiscencia de un esporangio de pteridófito.

5. Discusión

5.1. Análisis polínico

La muestra A-4, la más antigua, correspondiente a la fase constructiva de Arucci Turobriga, se sitúa cercana en el ACP realizado con los porcentajes polínicos a la muestra A-2, la más tardía, posterior al abandono de la ciudad. Ambas presentan los niveles más altos registrados de polen de *Quercus* sp., los niveles más bajos de *Pinus* sp., y niveles muy bajos de Cupressaceae. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por López-Sáez *et al.* (2015) en muestras prehistóricas obtenidas en Aracena, quienes describen el paisaje formado por alcornocales sin evidencias de antropización, propios de la serie mesomediterránea subhúmedo-húmeda silicícola del alcornoque —*Sanguisorbo agrimonioidis-Querceto suberis sigmetum*—, en la que se encuentra enclavada la sierra de Aracena. No obstante, la presencia de polen de *Quercus* sp. en estas muestras (22,7% y 25%) es menor que la registrada por los citados autores en el caso de Aracena (53,5%), lo cual podría significar la presencia de bosques menos desarrollados o más abiertos, más típicos de la serie seco-subhúmeda silicícola de la encina —*Pyro bourgaeanae-Querceto rotundifoliae sigmetum*—. Los resultados de estas dos muestras difieren de los registrados por Fuentes *et al.* (2006), en asociaciones datadas en el tercer milenio antes de nuestra era en el yacimiento de La Junta, en la Puebla de Guzmán, que actualmente se enclava en la serie termomediterránea seca-subhúmeda silicícola de la encina —*Myrto communis-Querceto rotundifoliae sigmetum*— (Rivas-Martínez, 1987; Valle y Costa, 2003; Costa, 2005; Muñoz-Rodríguez

et al., 2008). En este enclave el polen de *Pinus* sp. era el más abundante, mientras que el de *Quercus* sp. apenas alcanzó el 10% en representación.

Las muestras A-5 y A-6 también se encuentran cercanas en el mencionado ACP, y ambas corresponderían al periodo de desarrollo de la ciudad. En ambas se mantiene la presencia de polen de *Quercus*, presentan niveles medios de polen de *Pinus* sp. y es llamativa la alta representación que contienen de polen de *Olea europaea* y de Cupressaceae, así como los bajos niveles de polen de *Fraxinus* sp. Por último, la muestra A-1 se sitúa como intermedia entre los dos grupos mencionados, y se corresponde con la etapa de abandono de la ciudad. Nuestra hipótesis de trabajo sería que el entorno de la ciudad estaría formado por bosques de encinas (*Quercus rotundifolia*) y alcornoques (*Quercus suber*), que se corresponderían con la vegetación regional de la zona, y cuyo polen estaría representado por el tipo *Quercus* sp. (Fig. 11A), en el que se integraría también el polen de la coscoja (*Quercus coccifera*), que representaría los coscojares. El polen de *Pinus* sp. podría suponer la presencia de *Pinus pinea* o *Pinus pinaster* acompañando o sustituyendo de forma natural a los encinares y alcornocales. No obstante, su abundancia en las muestras correspondientes a las fases del desarrollo de la ciudad reflejaría que los pinos pudieron ser utilizados en el entorno de ésta, bien como especies ornamentales o como especies forestales (Fig. 11B), como sucedió en otras colonias romanas de la Península Ibérica (López-González, 1982). Lo mismo ocurre con otros tipos polínicos de especies leñosas, que parecen aumentar su representatividad en las épocas del desarrollo de la ciudad, lo que podría indicar que fueron utilizados por los pobladores como especies forestales u ornamentales. Tal sería el caso de *Olea europaea*, Cupressaceae, *Ceratonia siliqua*, *Myrtus communis* y *Corylus avellana*, como se explicará a continuación.

El polen de *Olea europaea* podría tener su origen en los acebuches que forman parte de los coscojares que forman los maquis en la zona, pero también en este caso su frecuencia aumenta en las muestras correspondientes al desarrollo de la ciudad, lo cual podría indicar su cultivo en el área o su uso como especie ornamental (Fig. 11C), hecho frecuente por ser un árbol dedicado a la diosa Minerva (Bowe, 2004). En cuanto al polen de Cupressaceae, las fuentes silvestres actuales de este polen podrían ser *Juniperus oxycedrus* subsp. *bardia* (H. Gay) Debeaux, del que existen dudas sobre su carácter autóctono y que se localiza de forma muy puntual en la Sierra de Huelva (Muñoz-Reinoso y Sánchez-Gullón, 2016), o *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* (Gussone) Nyman, muy abundante en los arenales costeros estabilizados y que penetra en el interior de la provincia en algunos valles cercanos al río Guadiana, formando comunidades ocasionales, alcanzando la latitud de El Granada, unos 70 km al suroeste de Arucci Turobriga (Muñoz-Rodríguez *et al.*, 2008). De hecho, este polen no fue registrado ni en las muestras prehistóricas ni en las posteriores procedentes del Castillo Aracena por López-Sáez *et al.* (2015), pero sí en las analizadas del tercer milenio procedentes de la Puebla de Guzmán (Fuentes *et al.*, 2006), localidad cercana a los actuales sabinares próximos al Guadiana. Estas consideraciones, junto con el aumento de los porcentajes de este polen en las muestras procedentes del apogeo de la ciudad, indicarían que probablemente dicho aumento provenga de la utilización de especies de esta familia como ornamentales, entre las cuáles podría estar los cipreses del género *Cupressus* (Fig. 11G). Algo similar podría ocurrir en el caso del algarrobo (*Ceratonia siliqua*), que no aparece en la vegetación de la zona, por lo que su presencia en la muestra A-1 podría poner de manifiesto su plantación como cultivo o como árbol ornamental de la ciudad.

La presencia de polen de *Fraxinus* sp. procedería de los bosques de ribera del río Chanza,

que estarían formados por fresnedas de *Fraxinus angustifolia* (Fig. 11D), ya que, en base a la estacionalidad de sus cauces, se excluye la presencia de especies propias de riberas de aguas permanentes como los alisos (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), chopos y álamos (*Populus* sp.) o sauces (*Salix* sp.), presentes en algunos cauces permanentes de la Sierra de Huelva. Sin embargo, en la muestra A-2 aparece polen de *Populus*, lo cual podría suponer la presencia de suelos con humedad permanente en la proximidad de la ciudad en su fase de abandono, lo que favorecería la presencia de chopos y álamos.

Respecto a los pólenes procedentes de especies arbustivas, el polen de *Pistacia* sp. provendría de los lentiscos (*Pistacia lentiscus*), que son actualmente abundantes en la zona, tanto formando parte del sotobosque de encinares y alcornocales, como en los maquis de coscojares y lentiscares (Fig. 11E), aunque no se excluye que pudieran haber sido cultivados, ya que las especies de este género eran plantadas en los enclaves romanos ligados a emplazamientos militares (Day, 2013). Algo similar podría decirse del polen de mirto (*Myrtus communis*) que, aunque se trata de una especie común en los coscojares del entorno, podría también haber sido una especie cultivada como ornamental (Bowe, 2004) (Fig. 11K). En cuanto al polen del tipo *Cytisus*, incluiría las especies de los géneros *Cytisus*, *Retama* y *Genista*, que forman parte de la vegetación natural de la zona (Muñoz-Rodríguez *et al.*, 2008) (Fig. 11F).

Del resto de las especies arbustivas, lo más destacable es la presencia, aunque esporádica, de polen de avellano (*Corylus avellana*), especie cuya presencia nativa actual en la Sierra de Huelva es dudosa (Valdés *et al.*, 2008) y localizada únicamente a las zonas más altas y húmedas de la Sierra, donde se cultiva tradicionalmente, por lo que su presencia en muestras provenientes de la época del asen-

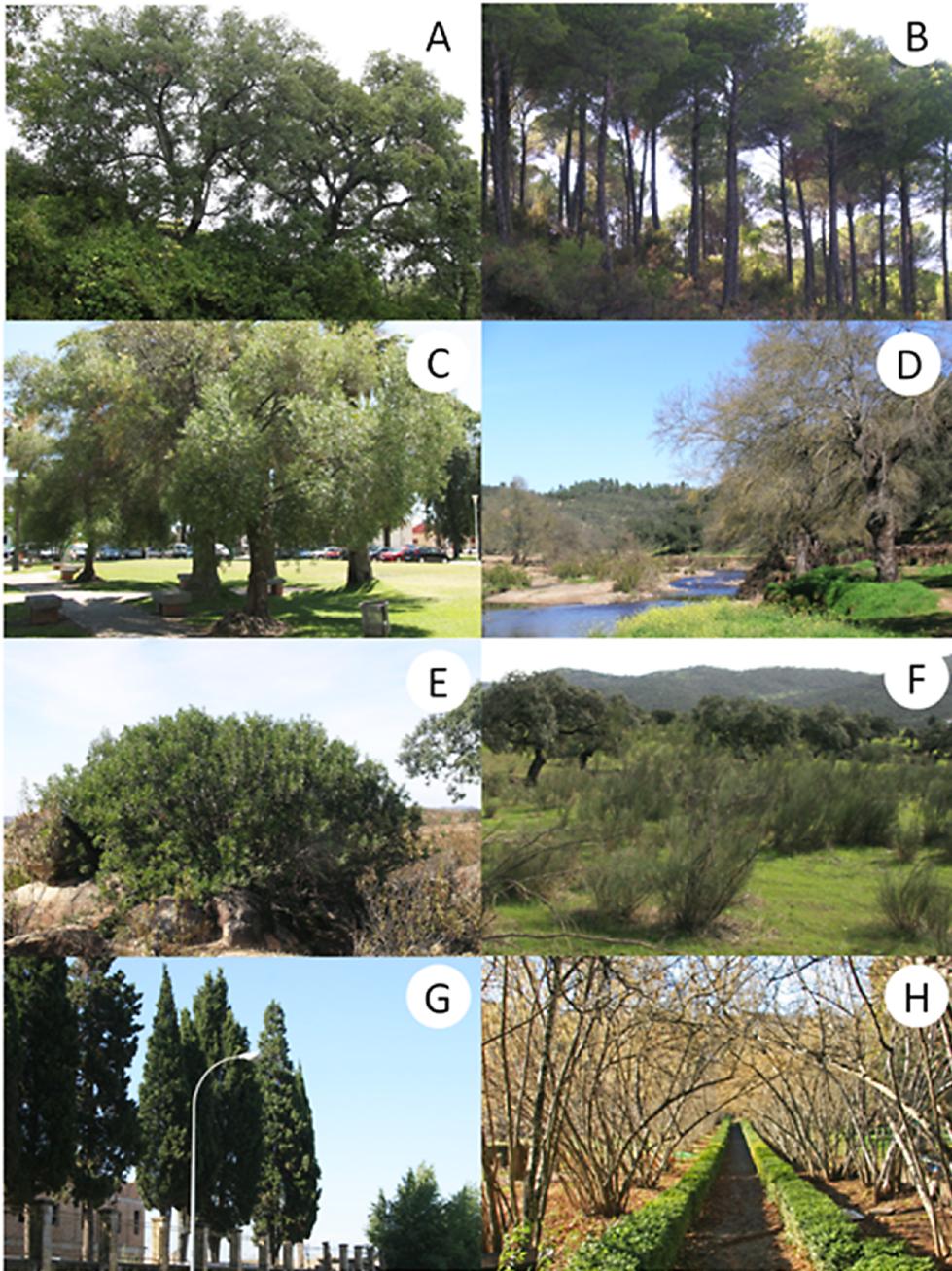


Figura 11. Análogos modernos de la vegetación del entorno de Arucci Turobriga fotografiados en distintos puntos de la provincia de Huelva. A: bosque de alcornoques con matorral de coscoja; B: plantación de *Pinus pinaster*; C: olivos como plantas ornamentales; D: bosque de fresnos de ribera en el río Odiel; E: planta de *Pistacia lentiscus*; F: matorral de *Retama sphaerocarpa*; G: árboles de *Cupressus sempervirens* como plantas ornamentales; H: arbustos de *Corylus avellana* como plantas ornamentales.

Figure 11. Modern analogues of the vegetation surrounding Arucci Turobriga photographed from different locations in Huelva province. A: cork oak forest with thickets of kermes oak; B: plantation of *Pinus pinaster*; C: olive trees as ornamental plants; D: riverside ash tree forest in Odiel River; E: plant of *Pistacia lentiscus*; F: broom shrub of *Retama sphaerocarpa*; G: *Cupressus sempervirens* trees as ornamental plants; H: *Corylus avellana* shrubs as ornamental plants.

tamiento indicaría su cultivo (Bowe, 2004) (Fig. 111). López-Sáez *et al.* (2015) no detectan polen de avellano en las muestras que analizan de Aracena, a diferencia de Fuentes *et al.* (2006) que lo identifican de forma recurrente en las muestras más antiguas del tercer milenio antes de nuestra era en el yacimiento de La Junta, por lo que es posible que en épocas remotas esta especie estuviera presente de forma natural en la zona.

El cortejo de tipos polínicos correspondientes a especies herbáceas se corresponde con la flora ruderal que usualmente se asocia a enclaves antropizados, dado la gran cantidad de especies nitrófilas que incluyen (López-Sáez *et al.*, 2003; Casas-Gallego *et al.*, 2012). Dentro del tipo polínico Poaceae, los cereales cultivados (tipo Cerealia) pueden ser discriminados en base a su mayor tamaño (>40-45 μm) y a su mayor diámetro de poro (>8 μm) (López-Sáez y López-Merino, 2005; Joly *et al.* 2007), caracteres que son frecuentemente utilizados para identificar la presencia de zonas de cultivo. Existen otros caracteres que podrían permitir esta separación, como la relación entre el diámetro del poro y su opérculo o la ornamentación del grano (Tweddle *et al.*, 2005; Joly *et al.*, 2007; Hapsari y Ballauff, 2022). No obstante, los granos de polen de las especies silvestres de Poaceae pueden presentar características similares a las del polen de los cereales en la región mediterránea, lo cual reduce el valor diagnóstico del tamaño de los granos (Bottema, 1992; Eastwood *et al.*, 2018). En consecuencia, los datos obtenidos en nuestro análisis no proveen una base suficiente para asegurar la presencia de cultivos de cereales en la zona.

En relación con la escasa representación y diversidad polínica de la muestra A-3, debe indicarse que presenta una cantidad y diversidad de esporas similar al resto de muestras (ver apartado 5.2). En consecuencia, este bajo contenido polínico puede deberse a fac-

tores que han reducido la deposición de polen, como una situación en el interior de una edificación o en un lugar cobijado con poca aireación (Wang *et al.*, 2022), lo que podría estar refutado por la alta representación de polen de especies nitrófilas que presenta, como es el caso de *Mercurialis sp.*, *Echium sp.* y *Paronychia sp.* Dado el número de granos presentes en las muestras (>150 en la mayoría de ellas, llegando a casi 900 en algunas), se estima que no se debe al tamaño de la muestra, sino a estos factores.

Finalmente, debe indicarse que Yáñez (1997) efectuó un estudio polínico muy preliminar sobre el yacimiento de Arucci Turobriga. No obstante, sus muestras fueron tomadas en sedimentos expuestos al exterior y en consecuencia susceptibles de contaminación polínica reciente. Por ello, no se considera adecuada la comparación de sus resultados con los aquí obtenidos.

5.2. Análisis de esporas

Los palinomorfos no polínicos, donde se incluyen las esporas de hongos y de otras criptógamas, dan a veces una importante información sobre las condiciones que rodearon la formación de los sedimentos. Sin embargo, su utilización en estos estudios es motivo de disparidad de opiniones, en base a la común falta de precisión en las identificaciones y a las alteraciones que estos restos pueden sufrir durante la preparación de las muestras (Cugny *et al.*, 2010).

Dentro de los hongos parásitos, el tipo identificado más frecuente es el tipo *Ustilago*, que correspondería a las teliosporas de los hongos del género *Ustilago*, que producen la enfermedad de tizón en gramíneas. Aunque algunos autores interpretan la abundancia de esporas de hongos parásitos y coprófilos como un efecto de actividades agrarias (Medeanic y Silva, 2010), sin embargo, la abundancia de esporas de hongos parásitos aparece en am-

bientes ecológicamente muy diversos (Crozier y Leventin, 1996), por lo que descartamos su valor diagnóstico en la recreación del ambiente que determinó la sedimentación en las muestras estudiadas.

El siguiente grupo más frecuente es el de los hongos micorrízicos, en el que se integran dos grupos de hongos diferenciables por la forma de liberar las esporas. Las esporas del tipo *Sclerodermatineae* incluiría las basidiosporas de diversos géneros de gasteromicetes como *Pisolithus*, *Astraeus* y *Scleroderma*, los cuales forman asociaciones micorrízicas con árboles y arbustos de la zona. Estos hongos forman cuerpos fructíferos en la superficie del sustrato y liberan sus esporas al aire, por lo que de ellos se espera un comportamiento aerovagante. Este tipo es muy frecuente en las muestras A-5 y A-6.

El segundo grupo integraría el resto de los tipos identificados: *Glomeromycota* p.p., tipo *Glomus*, tipo *Scutellospora* y tipo *Tuber*, que viven y liberan sus esporas en el propio suelo, por lo que su presencia no implica transporte ni sedimentación y son raros como partículas aerovagantes, siendo necesario el análisis de los suelos para el estudio de su dispersión (Suchitra *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2020). Más aún, muchos autores interpretan su abundancia en muestras paleobiológicas como el reflejo de procesos erosivos (Ejarque *et al.*, 2010; Medeanic y Silva, 2010; López-Vila *et al.*, 2014; Quamar, 2015). Sin embargo, los trabajos de Kolaczek *et al.* (2013) cuestionan esta interpretación, ya que declaran que estas esporas pueden haberse producido por micelios de micorrizas desarrollados posteriormente a la sedimentación inicial de los depósitos, los cuales parecen ser más abundantes y diversos en sistemas agrícolas sobre suelos pobres en nutrientes (Suchitra *et al.*, 2012). Las esporas de los tipos que integran este grupo son muy frecuentes en las muestras A-1 y A-3, siendo entre ellas destacable la muestra

A-3, en la cual hay una escasa representación de polen y una alta presencia de esporas, de las cuales el 88,7 % pertenece a tipos de este grupo.

Los hongos coprófilos, representados por el tipo *Sordaria*, son el tercer grupo en abundancia, y están constituidos por especies que se desarrollan sobre excrementos o plantas en descomposición. Su presencia es de gran interés, ya que permiten discernir la presencia de prácticas de pastoreo o abonado del suelo, como ya revelaron Van Geel *et al.* (2003) en asentamientos del período romano en los Países Bajos, así como otros autores (Menozzi *et al.*, 2010; Feeser y O'Connell, 2010; López-Vila *et al.*, 2014; Basumatary *et al.*, 2020). Así, el pastoreo regular del ganado o la aplicación de estiércol de ganado ocasiona un aumento estadísticamente significativo de esporas de hongos coprófilos en el suelo, incluso entre muestras poco distanciadas (Graf y Chmura, 2006; Cugny *et al.*, 2010). Además de asociarse con los excrementos de herbívoros, estas esporas aparecen también en los sedimentos de letrinas romanas (Baeten *et al.*, 2012). Las esporas de este grupo de hongos aparecen en muy alto porcentaje en la muestra A-5, lo que indica en esa situación la presencia de excrementos de origen animal o bien la utilización de éstos como abono para cultivos agrarios u ornamentales (Henderson, 2004). La muestra A-5, corresponde al periodo de desarrollo de la ciudad y su procedencia de una letrina situada dentro de los baños de Arucci Turobriga (Fig. 3) se vería corroborada por la frecuencia de este tipo de esporas.

En relación a las esporas de helechos y briófitos, éstas son muy abundantes en la muestra A-2, correspondiente a la fase posterior al abandono de la ciudad, en la que además se localizó un anillo de dehiscencia del esporangio de un helecho, que supone la presencia cercana de la fuente, ya que no son arrastrados por el viento y en la que, como

se comentó anteriormente, aparece polen de *Populus*, lo que determina que dicha muestra representa un enclave con humedad edáfica permanente, procedente de una acumulación natural de humedad en el suelo o propiciada por el acumulo de agua en los restos enterrados de la piscina y otras instalaciones con suelos impermeables de las termas. Las esporas de estos vegetales están también presentes en las muestras A-1 y A-3, aunque en este caso ninguno de los tipos reconocido implica el mantenimiento de la humedad durante todo el año, ya que las especies de los tipos *Riccia* y *Fossombronia* toleran la sequía estival (Puche *et al.*, 1988). Por último, es interesante la presencia de esporas de *Pellia* en la muestra A-4, ya que se trata de un género de especies hidrófilas que requieren alta humedad en el suelo (Puche *et al.*, 1988).

6. Conclusiones

El espectro polínico revela en primer lugar un entorno similar al actual en los alrededores de Arucci Turobriga, con presencia de encinares y alcornoques, matorrales de coscojares y lentiscas, y jarales y retamares, los cuales forman asociaciones micorrízicas con distintos géneros de gasteromicetes identificados por sus esporas. Además, la presencia de polen de fresno atestiguaría la presencia de bosques de ribera de aguas temporales en las proximidades de la ciudad romana. El aumento en las proporciones de algunos tipos polínicos durante el periodo de desarrollo de la ciudad indicaría el uso de algunas especies como forestal, agrícola u ornamental, como las especies de Cupressaceae y de *Pinus*, así como del olivo, el algarrobo y el avellano, y podría ser también el caso del mirto y las especies de *Pistacia*.

El polen de las especies herbáceas representa elementos de la flora ruderal, asociada a enclaves antropizados, pero no hay elementos suficientes para asegurar el cultivo de

cereales en la zona, ni en base a las características analizadas de los pólenes observados de Poaceae, ni en base a los datos recogidos de esporas de hongos parásitos. Sin embargo, la aparición y abundancia de esporas de *Sordaria* en algunas muestras, podrían indicar la presencia de excrementos de origen animal o su uso como fertilizantes en cultivos o en jardinería, y confirmarían la localización de una letrina en los baños de Arucci Turobriga. Por último, la determinación de esporas de pteridófitos y briófitos en el periodo de abandono de la ciudad indicaría la presencia de suelos con humedad permanente en el área, confirmado por la presencia de polen del género *Populus*.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto “La ciudad de Arucci (Aroche, Huelva)” de la Consejería de Cultura, Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Es una contribución al Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHNCN) de la Universidad de Huelva y al Campus de Excelencia Internacional CEIMAR.

Bibliografía

- Aguilar, I., Bermejo, J. (2022). Nuevas aportaciones arqueológicas sobre las termas de Arucci. *Onoba*, 10, 193-205. <https://orcid.org/0000-0002-1905-8398>
- Baeten, J., Marinova, E., De Laet, V., Degryse, P., De Vos, D., Waelkens, M. (2012). Faecal biomarker and archaeobotanical analyses of sediments from a public latrine shed new light on ruralisation in Sagalassos, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, 39, 1143-1159. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.019>
- Basumatary, S.K., Singh, H., van Asperen, E.N., Tripathi, S., McDonald, H.G., Pokharia, A.K. (2020). Coprophilous and non-coprophilous fungal spores of *Bos mutus* modern dung from the Indian Himalaya: Implications to temperate paleoherbivory and paleoecological analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology*,

- 277, 104208. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104208>
- Bera, S. K., Dixit, S., Basumatary, S.K., Gogoi, R. (2008). Evidence of biological degradation in sediments of Deepor Beel Ramsar site, Assam as inferred by degraded palynomorphs and fungal remains. *Current Science*, 95, 178-180.
- Bermejo, J. (2011). El fin del modelo urbano y municipal en *Arucci Turobriga*, la transformación hacia la antigüedad tardía (ss. III-VII d.C.). *Arqueología y territorio medieval*, 18, 55-70. <https://doi.org/10.17561/aytm.v18i0.1467>
- Bermejo, J. (2013). *Arucci Turobriga. Civitas et Territorium. Un modelo de implantación territorial y municipal en la Baeturia Celtica*. Universidad de Huelva, 869 pp.
- Bermejo, J., Medina, N., Campos, J.M. (2020a). Las termas de Arucci (San Mamés, Aroche): análisis arquitectónico y arqueológico. En: J.M. Noguera Celdrán, V. García Entero, M. Pavía Page (Coords.), *Termas públicas de Hispania*. Monografías de SPAL XXXIII, Universidad de Sevilla, pp. 755-768.
- Bermejo, J., Medina, N., Campos, J.M., Fernández, L., Marfil, F., Bermejo, A., Domínguez, E. (2020b). *Proyecto general de investigación arqueológica: la ciudad de Arucci Turobriga, Aroche (Huelva). Campaña 2019 Intervención arqueológica en las termas y estudio de materiales de la campaña 2018*. Memoria final, Delegación Provincial de Cultura, Junta de Andalucía, Spain (unpublished).
- Bermejo, J., Campos, J.M. (2022). El urbanismo de *Arucci* (San Mamés, Aroche, Huelva), una ciudad para la administración y el servicio en la frontera de la Bética. En P. Mateos, M. Olcina, A. Pizzo, T.G. Shattner (Eds.), *Small Towns, una realidad urbana en la Hispania romana*, Instituto de Arqueología de Mérida, vol. 2, 415-424.
- Bottema, S. (1992). Prehistoric cereal gathering and farming in the Near East: the pollen evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 73, 21-33. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(92\)90042-F](https://doi.org/10.1016/0034-6667(92)90042-F)
- Bowe, P. (2004). *Gardens of the Roman world*. Getty Publications, Los Angeles, 176 pp.
- Campos, J.M., Bermejo, J., Delgado, S., Gómez, A., Medina, N., O'Kelly, J., Rodríguez, R., Vidal, N.O. (2006). *Proyecto de Investigación y puesta en valor de la ciudad hispanorromana de Turobriga, Aroche (Huelva). Campañas 2005-2006*. Memoria científica, Volumen I. Huelva. Delegación Provincial de Cultura, Junta de Andalucía, Spain (unpublished).
- Carrión, J.S., Parra, I., Navarro, C, Munuera, M. (2000). Past distribution and ecology of the cork oak (*Quercus suber*) in the Iberian Peninsula: a pollen-analytical approach. *Diversity and Distributions*, 6, 29-44. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00070.x>
- Casas-Gallego, M., Morín de Pablos, J., Urbina Martínez, D. (2012). Análisis palinológico del yacimiento arqueológico de Las Madrigueras II (Carrascosa del Campo, Cuenca). *Polen*, 22, 15-24
- Costa, J.C. (Dir.) (2005). *Datos botánicos aplicados a la gestión del medio natural andaluz II: Series de vegetación*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla (CD).
- Crotzer, V., Levetin, E. (1996). The aerobiological significance of smut spores in Tulsa, Oklahoma. *Aerobiologia*, 12, 177-184. <https://doi.org/10.1007/BF02248147>
- Cugny, C., Mazier, F., Galop, D. (2010). Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19, 391-408. <https://doi.org/10.1007/s00334-010-0242-6>
- Day, J. (2013). Botany meets archaeology: people and plants in the past. *Journal of Experimental Botany*, 64, 5805-5816. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert068>
- Delgado, S. (2008). Terra sigillata y paredes finas en Turobriga (Aroche, Huelva). Campañas 2004/2005. *Vipasca*, 2008-2, 354-363.
- Desprat, S., Díaz Fernández, P. M., Coulon, T., Ezzat, L., Pessarossi-Langlois, J., Gil, L., Morales Molino, C., Sánchez Goñi, M. F. (2015). *Pinus nigra* (European black pine) as the dominant species of the last glacial pinewoods in southwestern to central Iberia: a morphological study of modern and fossil pollen. *Journal of Biogeography*, 42(10), 1998-2009. <https://doi.org/10.1111/jbi.12566>
- Eastwood, W.J., Fairbairn, A., Stroud, E., Roberts, N., Lamb, H., Yiğitbaşıoğlu, H., Şenkul, C., Moss, A., Turner, R., Boyer, P. (2018). Comparing pollen and archaeobotanical data for Chalcolithic cereal agriculture at Çatalhöyük, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 202, 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.11.012>
- Ejarque, A., Miras, Y., Riera, S., Palet, J. M., Orengo, H.A. (2010). Testing micro-regional variability in the Holocene shaping of high mountain cultural landscapes: a palaeoenvironmental case-study in the eastern Pyrenees. *Journal*

- of *Archaeological Science*, 37, 1468-1479. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.01.007>
- Faegri, K., Kaland, P.E., Krzywinski, K. (1989). *Text-book of pollen analysis*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK, 328 pp.
- Feeser, I., O'Connell, M. (2010). Late Holocene land-use and vegetation dynamics in an upland karst region based on pollen and coprophilous fungal spore analyses: an example from the Burren, western Ireland. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19, 409-426. <https://doi.org/10.1007/s00334-009-0235-5>
- Fuentes, N., Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Nocete, F., Lizcano, R. (2006). Análisis polínico del yacimiento arqueológico de La Junta (Puebla de Guzmán, Huelva). *Anales de Biología*, 8, 73-83.
- Graf, M.T., Chmura, G.L. (2006). Development of modern analogues for natural, mowed and grazed grasslands using pollen assemblages and coprophilous fungi. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.03.018>
- Hapsari, K.A., Ballauff, J. (2022). Distinguishing pollen grains of cereal from wild grasses in the Sundaland region using size separation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 301, 104648. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104648>
- Henderson, J. (2004). *The Roman book of gardening*. Routledge, London, UK, 164 pp. <https://doi.org/10.4324/9780203356999>
- Ibarra-Morales, E., Fernández-Galán, B.S. (2012). El estudio del polen antiguo: problemas y estrategias en el laboratorio. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15, 62-66.
- Joly, C., Barillé, L., Barreau, M., Mancheron, A., Visset, L. (2007). Grain and annulus diameter as criteria for distinguishing pollen grains of cereals from wild grasses. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 146(1-4), 221-233. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2007.04.003>
- Käärik, A., Keller, M.J., Kiffer, M.E., Perreau, J., Reisinger, M.O. (2012). *Atlas of airborne fungal spores in Europe*. Springer Science & Business Media, Heidelberg, Germany, 142 pp.
- Kolaczek, P., Zubek, S., Blaszkowski, J., Mleczko, P., Margielewski, W. (2013). Erosion or plant succession—How to interpret the presence of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) spores in pollen profiles collected from mires. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 189, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.11.006>
- López-González, G. (1982). *Guía de INCAFO de los árboles y arbustos de la Península Ibérica*. INCAFO, Madrid, Spain, 866 pp.
- López-Sáez, J.A., López-García, P., Burjachs, F. (2003). Arqueopalinología: síntesis crítica. *Pollen*, 12, 5-35.
- López-Sáez, J.A., López-Merino, L. (2005). Precisiones metodológicas acerca de los indicios paleopalinológicos de agricultura en la prehistoria de la Península Ibérica. *Portugalia*, 26, 53-64. <http://hdl.handle.net/10261/93814>
- López-Sáez, J. A., Alba Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Núñez de la Fuente, S., Romero Bomba, E. (2015). Análisis palinológico del alcázar del castillo de Aracena (Huelva). *Ligustinus: Revista Digital de Andalucía de Arqueología Occidental*, 4, 39-49.
- López-Vila, J., Montoya, E., Cañellas-Boltà, N., Rull, V. (2014). Modern non-pollen palynomorphs sedimentation along an elevational gradient in the south-central Pyrenees (southwestern Europe) as a tool for Holocene paleoecological reconstruction. *The Holocene*, 24, 327-345. <http://dx.doi.org/10.1177/0959683613518593>
- Medeanic, S., Silva, M.B. (2010). Indicative value of non-pollen palynomorphs (NPPs) and paly-nofacies for palaeoreconstructions: Holocene Peat, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, 84, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.08.015>
- Medina, N. (2009). *Intervención arqueológica puntual en la ciudad hispanoromana de Turrobriga, Aroche (Huelva)*. Memoria científica. Delegación Provincial de Cultura, Junta de Andalucía, Spain (unpublished).
- Melo, C.D., Walker, C., Freitas, H., Machado, A.C., Borges, P.A. (2020). Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in Terceira and São Miguel Islands (Azores). *Biodiversity Data Journal*, 8, e49759. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e49759>
- Menzio, B.I., Zotti, M., Montanari, C. (2010). A non-pollen palynomorphs contribution to the local environmental history in the Ligurian Apennines: a preliminary study. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19, 503-512. <https://doi.org/10.1007/s00334-010-0271-1>
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collison, M.E. (1991). *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 216 pp.
- Muñoz-Reinoso, J.C., Sánchez-Gullón, E. (2016). *Juniperus oxycedrus* var. *badia* novedad

- para el litoral de Huelva (España). *Acta Botanica Malacitana*, 41, 291-294. <https://doi.org/10.24310/abm.v41i0.2475>
- Muñoz-Rodríguez, A.F., Santa-Bárbara, C., Vicent, C. (2008). Comunidades arbustivas seriales en el Andévalo y Sierra de Aracena (Huelva; SO de España). *Lagascalía*, 28, 21-71. <http://hdl.handle.net/10272/7374>
- O'Kelly, J. (2008). Cerámica común en Turobriga (Aroche, Huelva). Campañas 2004/2005. *Vipasca*, 2008-2, 346-353.
- Puche, F., Mateu, I., Casañ, A. (1988). Esporas de Briófitos españoles II. Hepáticas. *Lagascalía*, 15, 7-24.
- Quamar, M.F. (2015). Non-pollen palynomorphs from the late Quaternary sediments of southwestern Madhya Pradesh (India) and their palaeoenvironmental implications. *Historical Biology*, 27, 1070-1078. <https://doi.org/10.1080/08912963.2014.933212>
- Rivas-Martínez, S. (1987). *Mapa de series de vegetación de España*. ICONA, Serie Técnica, Madrid, Spain.
- Suchitra, R., Kumutha, K., Balachandar, D. (2012). Morpho-typing and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in sub-tropical soils of Coimbatore region, Tamil Nadu, India. *Indian Journal of Microbiology*, 52, 145-152. <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0206-2>
- Tweddle, J. C., Edwards, K. J., Fieller, N. R. (2005). Multivariate statistical and other approaches for the separation of cereal from wild Poaceae pollen using a large Holocene dataset. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14, 15-30. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0064-0>
- Valdés, B., Díez, M.J., Fernández, I. (1987). *Atlas polínico de Andalucía occidental*. Instituto de desarrollo regional de la Universidad de Sevilla, Utrera, Spain, 450 pp.
- Valdés, B., Santa-Bárbara, C., Vicent, C., Muñoz, A. (2008). Catálogo florístico del Andévalo y Sierra de Huelva (plantas vasculares). *Lagascalía*, 28, 117-409. <http://hdl.handle.net/10272/7377>
- Valle, F., Costa, J.C. (2003). *Mapa de series de vegetación de Andalucía*. Editorial Rueda, Madrid.
- Valle, F., Navarro, F.B., Jiménez, M.N. (2004, coords.). Datos botánicos aplicados a la Gestión del Medio natural Andaluz I: Bioclimatología y biogeografía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.
- Van Geel, B. (2002). Non-pollen palynomorphs. En J.P. Smol, H.J.B. Birks, W.M. Last, R.S. Bradley, K. Alverson (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Developments in Paleoenvironmental Research, vol 3. Springer, Dordrecht, Netherlands, 99-119. https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_6
- Van Geel, B., Buurman, J., Brinkkemper, O., Schelvis, J., Aptroot, A., Van Reenen, G., Hakbijn, T. (2003). Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science*, 30, 873-883. [https://doi.org/10.1016/S0305-4403\(02\)00265-0](https://doi.org/10.1016/S0305-4403(02)00265-0)
- Wang, W., Ooka, R., Kikumoto, H., Oh, W., Han, M. (2022). Influence of various factors on indoor/outdoor pollen concentration ratio based on experimental research: A review. *Building and Environment*, 219, 109154. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109154>
- Yáñez, C. (2007). Estudio palinológico del yacimiento arqueológico de Turobriga (Aroche, Huelva). Proyecto de investigación y puesta en valor de la ciudad hispanorromana de Turobriga (Aroche, Huelva). Campañas 2005/2006. Memoria científica, Vol. III Anexos, Delegación Provincial de Cultura, Inédito, 535-575.

Recibido el 18 de septiembre de 2023

Aceptado el 20 de mayo de 2024